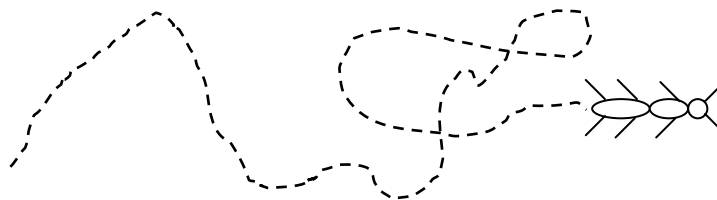


# CAPÍTULO 5

## EVENTOS INESPERADOS (EI)

En este capítulo se describen los problemas y las alternativas de solución en los sistemas de información ante eventos que se desconoce con cuando ocurrirán (llamados por nosotros eventos inesperados). El problema específico que nos interesa en este trabajo consiste en saber cual de las acciones que un agente tiene ante eventos inesperados, que ocurren en un ambiente, es la más apropiada. La elección entre un conjunto limitado de acciones se debe a que no es posible dotar a un sistema con acciones para reaccionar ante cada imprevisto porque existe un número infinito de estos.

En los sistemas que interactúan con su ambiente, por ejemplo, una hormiga explorando un terreno en busca de fuentes de alimento (figura 5.1), o cuando alguien conduce un automóvil; las condiciones que se presentan en el ambiente tampoco son previsible, por lo tanto tampoco las secuencias de las acciones se conocen de antemano. Cada acción que se realiza es una decisión (o reacción) que depende de las percepciones en cada momento, esto implica un tratamiento similar a como se atienden los eventos inesperados, en donde se elige la acción más apropiada ante las condiciones percibidas en un momento determinado; esto implica que un agente reacciona de una forma en un momento dado y en otra en otro momento.



**Figura 5.1** Trayectoria descrita por una hormiga buscando alimento

Para que un agente capte los eventos que ocurren en su entorno, requiere de mecanismos de percepción del ambiente que le proporcionen información. La información de las percepciones junto con las acciones que puede realizar le permite generar una decisión sobre la acción más pertinente dadas las condiciones en que se encuentra. En el ejemplo de la hormiga, esta utiliza sus antenas como sensores y las acciones que realiza son: avanza, retrocede, se detiene o da vuelta. En cada momento “decide” cual acción realizar en función de los estímulos y condiciones del ambiente. En un sistema de información las acciones son suspender el servicio y enviar un mensaje al cliente ante la caída de un servidor, o activar inmediatamente algún servidor que se tenga de respaldo.

El estudio de los elementos imprevistos se considera como una alternativa a la *Máquina de Turing* (MT) (la cual es apropiada para computar funciones pero no interacciones con entradas imprevistas). En la década de los 30s (antes del advenimiento de la computadora digital) varios matemáticos trabajaban sobre el significado de computar una función. Alonso Church y Alan Turing independientemente llegaron a conclusiones equivalentes. “Una función es computable si puede ser computada por una Máquina de Turing”, este tipo de funciones se conocen como *recursivamente enumerables*. El hecho que no fuera el mecanismo más poderoso para representar computaciones era ya conocido por el mismo Turing quien mostró en 1939 que las MT con oráculo, por ejemplo, el oráculo de Delphi (que pueden predecir el futuro) eran más poderosas que las Máquinas de Turing.

La MT puede describirse como un dispositivo computacional que consiste de una cabeza de lectura/escritura que barre una cinta (posiblemente infinita) unidimensional (bidireccional) dividida en celdas, donde cada una contiene un elemento de un alfabeto finito (por ejemplo 0s, 1s) con la restricción que existe un número finito de símbolos no-blancos en las celdas de la cinta. La computación inicia con la maquina en un estado determinado, revisa el contenido de una celda, sustituye el contenido de la misma con lo que indica la transición, se mueve a la celda contigua y pasa a un estado nuevo. Las instrucciones tienen la forma:

```
(estado_actual, simbolo_actual, nuevo_estado, nuevo_simbolo, izquierda/derecha)
```

y se interpretan como sigue: al encontrarse la máquina en su estado\_actual, con un simbolo\_actual en la celda donde se encuentra la cabeza de lectura/escritura, cambiará su estado interno al estado\_nuevo, reemplazando el símbolo en la cinta ubicado en la posición actual por el nuevo\_simbolo y luego realizando un movimiento de la cabeza una celda en la dirección indicada (izquierda o derecha). Si se encuentra una condición (por ejemplo un símbolo de entrada desconocido) para el que no se tiene una instrucción, entonces se detiene la máquina, quedando la computación incompleta.

Un problema en la MT es que si cambian las entradas en forma imprevista el sistema queda estancado debido a que no cuenta con alguna forma de adicionar en su tabla de transiciones una nueva, ni tampoco un esquema que permita el tratamiento de estas entradas. Igualmente al modelo de computación dado por la MT, muchos sistemas de información al encontrarse con entradas para las cuales no tienen instrucciones simplemente se detienen. Al observar a las hormigas, personas u otros animales notamos que estos aun cuando las condiciones que les rodean cambian, son capaces de exhibir una conducta sobre el imprevisto, por ejemplo cuando una hormiga se encuentra buscando alimento y comienza a llover, reacciona dirigiéndose inmediatamente a su hormiguero; si una persona extravía su dinero, solicita ayuda a personas que se encuentren cerca o camina hacia su casa. El mismo criterio de capacidad de reacción ante imprevistos puede integrarse a los robots y a los agentes, así, un agente realizando transacciones comerciales al encontrar una oferta de productos

de los que tiene conocimiento que su usuario le interesa, puede localizarlo y avisarle para que decida si los adquiere o no, acción que el agente mismo se encargará de llevar a cabo.

Como alternativa al modelo de la MT, Wegner [Wegner 1995] ha propuesto las Máquinas de Interacción (MI) como una extensión a las primeras en el sentido de permitir manejar un alfabeto infinito, en este caso aunque existe un número finito de acciones se tiene una manera de asociar una entrada con una acción, entonces los comportamientos finitos se ejecutan en formas dictadas por los eventos externos. Las MT transforman cadenas de símbolos de entrada en cadenas de salida. En cada paso la MT lee un símbolo de entrada, hace una transición de estado y escribe un símbolo sobre una cinta de salida y vuelve a leer otro símbolo. Sin embargo, las MT no pueden aceptar símbolos externos diferentes a los que se encuentran en su alfabeto finito mientras realizan sus computaciones. En contraste las MI, funcionan, además de las reglas internas, con estímulos del ambiente lo cual, permite computaciones interactivas, como en el caso de la hormiga regida por la información del ambiente en que se encuentra.

Las MT y las MI pueden compararse mediante la métrica del comportamiento observable. Las máquinas de interacción tienen un comportamiento observable más amplio porque pueden consultar oráculos para obtener la respuesta a computaciones no algorítmicas y pueden reaccionar a secuencias generadas por los oráculos o procesos cuya naturaleza diferente a los recursivamente enumerables. De esta forma las MI secuenciales son transductores que transforman un flujo de entrada en un flujo de salida.

Wegner ha encontrado varios tipos de Máquinas de Interacción desde la más sencilla de estas que lee una secuencia de entradas y las transforma en salidas (considerada como un punto de origen en un espacio de cinco dimensiones, en cada dimensión se parte de componentes sencillos) hasta componentes más complejos:

- a) *Flujos de entrada*, estos son sencillos o múltiples. La MI con entradas múltiples lee una entrada  $X_i$  de cada flujo de entrada y obtiene una  $Y_i$  (respuesta) para cada una en cada paso de computación (realiza computaciones en paralelo).
- b) *Sensibilidad al tiempo*, el tiempo exterior es un aspecto que las MT no pueden modelar, las MI superan esta limitación y les es posible interactuar con procesos externos en movimiento. La noción de tiempo relativo se expresa mediante secuencias de entradas ordenadas que incluyen un atributo de tiempo llamado traza.
- c) *Sincronía*, si el tiempo en el que llegan los flujos de entrada se determinan externamente y no por el control de la MI se dice que es una MI asíncrona. Si la MI controla el tiempo de ejecución de las entradas entonces es una MI síncrona.
- d) *Concurrencia*, las MI concurrentes pueden procesar entradas concurrentemente y dan lugar a comportamientos observables característicos que no pueden obtenerse mediante el procesamiento secuencial de entradas concurrentes. De hecho las interacciones concurrentes pueden realizarse en flujos de entrada múltiples o en un flujo de entrada único, en ambos casos la ejecución puede estar sobrelapada.
- e) *Retroalimentación*, se adiciona a las MI añadiendo un estado local que transmite la historia de los pasos de computación anteriores a los más recientes.

Mediante las MI se amplía la jerarquía de Chomsky como se muestra en la figura 5.2, con lo cual se indica que las MI son un modelo que extiende los trabajos hasta ahora realizados sobre computabilidad y sistemas formales.

COMPORTAMIENTO OBSERVABLE	MECANISMOS DE COMPUTACIÓN
Conjuntos regulares	Autómata finito
Lenguajes libres de contexto	Autómata de pila
Lenguajes sensibles al contexto	Autómata lineal acotado
Funciones computables	Máquinas de Turing
Comportamiento de máquinas síncronas	Máquinas de interacción síncronas
Comportamiento de máquinas asíncronas	Máquinas de interacción asíncronas

**Figura 5.2** Ampliación de la jerarquía de Chomsky con las Máquinas de Interacción (MI)

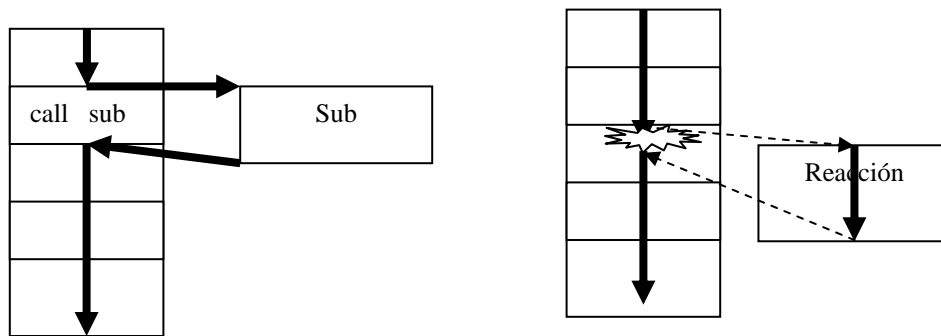
Las computaciones que toman en cuenta el exterior pueden dar origen a acciones más complejas que no pueden ser definidas por funciones computables dado que las transiciones entre estados no siguen una secuencia computable. En los sistemas reales considerar información del exterior permite tener más elementos para las decisiones, por ejemplo, los logros de los presidentes de grandes corporaciones o de países, dependen sobre el uso efectivo de la información de su ambiente. Los robots y los agentes tienen un modelo interactivo similar de computación dado el uso de la información que les proporcionan sus sensores para determinar sus acciones.

Hasta ahora muchos de los eventos que ocurren como excepciones al flujo normal de la ejecución de un proceso se han atendido como excepciones, por ejemplo el caso de una división por cero o la desconexión de un usuario de una base de datos al momento de realizar una transacción.

Cuando se realizan transacciones comerciales cuando ocurre un evento inesperado, se altera la secuencia de acciones que se está realizando y de las cuales ningún participante tiene el control. A diferencia de las excepciones, los eventos inesperados tienen diferentes acciones para su atención dependiendo de las capacidades y características del agente. Esto implica que algunos agentes continúan la ejecución normal de sus acciones mientras que otros las concluyen o activan una hebra de emergencia en lugar de las normales.

El estudio de los eventos inesperados tiene como objetivo modelar las situaciones del mundo real que afectan a los agentes y al ambiente en que estos se desenvuelven. En nuestro caso, como lo hemos visto en el capítulo 2, el ambiente se considera formado por recursos, características.

Para integrar las reacciones de emergencia a un agente que ya se encuentra realizando algunas acciones nos apoyamos en las ideas que proporciona la Programación Orientada a Aspectos [Ossher 2001] [Paniti 2001]. La cual considera a los sistemas formados por diferentes aspectos de interés programados por separado y cuya interacción se realizará en forma dinámica de acuerdo a como sean requeridos por las condiciones en que el sistema se va encontrando. Los aspectos se adicionan al sistema y se activan como consecuencia de los requerimientos de las situaciones en que opera el sistema. La integración de diferentes aspectos se hace en puntos de unión. Los puntos de unión no tienen un punto de llamado específico (figura 5.3) a diferencia de las subrutinas que tienen un punto de llamado y retorno específicos.



Llamado de una subrutina. Tiene un punto de llamado y otro de continuación fijos.

Reacción ante un evento inesperado. Se ejecuta en paralelo con otras hebras. Las hebras afectadas reinician su ejecución siempre al terminar la hebra de emergencia

**Figura 5.3** Puntos de activación/continuación de una subrutina y una reacción de emergencia. Las líneas oscuras continuas indican el flujo de control, las punteadas la activación/continuación de un proceso en paralelo

## 5.1 TIPOS DE EVENTOS INESPERADOS

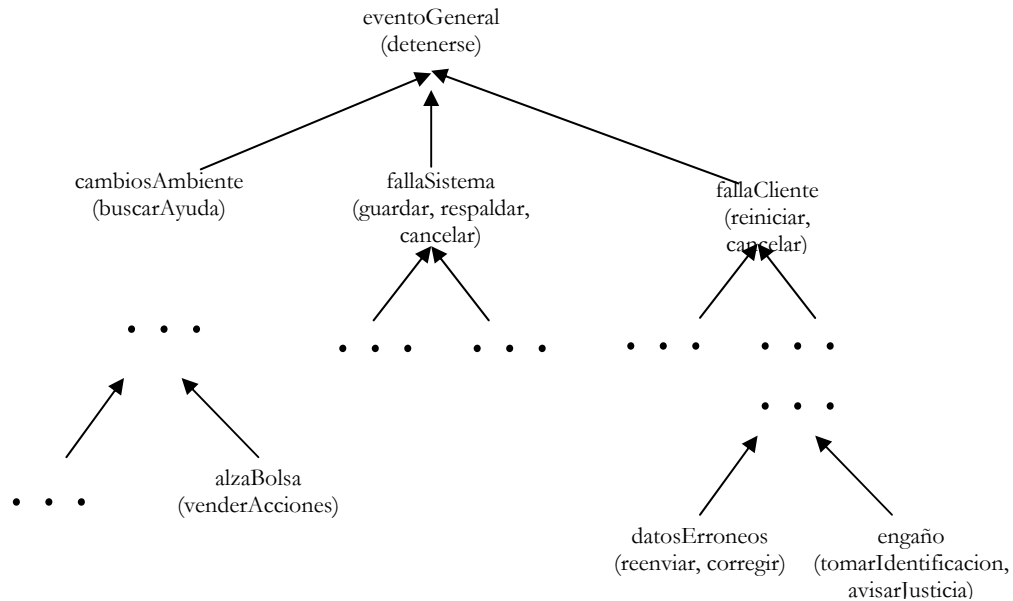
Los *eventos inesperados* que consideramos, son aquellas situaciones donde se desconoce el momento de su ocurrencia y la forma en que afectarán, por esto algunos agente resultan afectados mientras que otros no. Durante la ocurrencia de un evento inesperado puede acontecer otro que afecte la atención al evento que ya estaba atendándose.

Para atender el problema en que no es posible prever todos los acontecimientos que ocurren como eventos inesperados, los organizamos en una taxonomía (Figura 5.4) formada por clases a diferentes niveles de abstracción. La raíz es el evento inesperado más general (`eventoGeneral`). Para cada nodo se indica el nombre del evento y las reacciones que sirven para que un agente lo afronte.

## 5.2 GENERACIÓN DE EVENTOS INESPERADOS

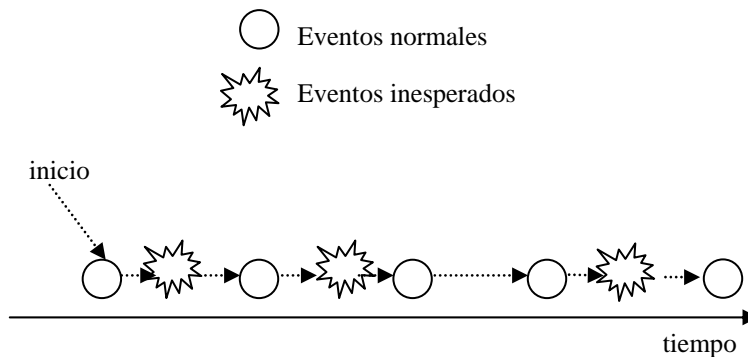
En el mundo real los eventos inesperados son imprevisibles, pero para efectos de nuestro modelo, los generamos de acuerdo a las características de su ocurrencia basándonos en la experiencia de su ocurrencia en lugar, tiempo y duración. Para esto se utiliza el generador de eventos inesperados, el cual es un módulo de SEA (véase el capítulo 2). Para cada evento generado en SEA, se indica la fecha y hora del evento, nombre y su duración. Estos es posible generarlos en forma automática utilizando distribuciones de probabilidad aunque por ahora se considera otra línea de investigación. Los eventos inesperados generados, al iniciar la ejecución de un sistema de agentes, se insertan en la cola de ejecución, que consta de un orden parcial en la línea del tiempo, los agentes no tienen acceso a la misma por lo que se considera que no pueden predecir el futuro (figura 5.5). Una vez que un evento ocurre se retira de la cola, por lo que el apuntador al inicio de la cola apunta al siguiente evento. El manejo de la afectación de los eventos inesperados en SEA se hace utilizando un módulo adicional llamado el Manejador de Eventos Inesperados (MEI), el cual se encarga de asignarle las

hebras de emergencia a los agentes que perciben el evento que ocurre en un momento determinado, también se encarga de reanudar la ejecución de los papeles suspendidos una vez que el evento inesperado ha ocurrido y que es posible continuarlos.



**Figura 5.4** Los eventos se organizan en un árbol con su nombre y los papeles de emergencia útiles en su atención

Los eventos inesperados que se introducen a un modelo deben ser congruentes, por ejemplo, se pierde dinero cuando hay una baja en la bolsa y afecta a un agente que tiene acciones. Esto significa que los eventos inesperados guardan congruencia con el ambiente y se respeta su ocurrencia en espacio, tiempo y duración.



**Figura 5.5** Los eventos inesperados se insertan en la cola de ejecución junto con los eventos normales de interacción entre agentes ordenados de acuerdo a su ocurrencia

En SEA los eventos inesperados que se generan se almacenan en un archivo, mismo que puede modificarse mediante las opciones utilizadas en el editor de eventos inesperados descrito en la sección 2.3. Otro elemento que forma parte de esto es el editor del árbol de eventos inesperados, en este caso y para propósitos de la simulación en el ambiente de SEA se utiliza un árbol finito pero en la realidad debería estar formado por un número infinito de eventos. En el árbol se registran los eventos y las reacciones que pueden utilizarse ante el mismo.

Las reacciones ante los eventos inesperados se almacenan en archivos diferentes expresadas en directivas de LIA que se integran al ambiente de ejecución de SEA en forma paralela y en ocasiones concurrente.

### 5.3 OCURRENCIA DE EVENTOS INESPERADOS

Dentro del sistema SEA de ejecución de agentes se integran los eventos inesperados en la cola de ejecución de hebras (véase la sección 2.3) a la cual no tienen acceso los agentes porque si esto fuera posible se consideraría que pueden visualizar el futuro y podrían entonces anticiparse a la ocurrencia de los mismos.

Una vez que el constructor ha creado las estructuras de datos del ambiente de ejecución y se tiene la cola de ejecución inicializada para ejecutar las operaciones, se cargan los eventos inesperados generando hebras que hacen referencia a los papeles que corresponden a los eventos inesperados. En la hebra del cada evento inesperado se tiene una instrucción de inicio del evento y otra con el fin del evento, estas al ejecutarse hacen llamados al módulo MEI.

Los eventos inesperados pueden favorecer o impedir que un agente alcance sus propósitos. Por lo tanto cuando ocurre un evento inesperado lo primero que se hace es identificar a los agentes que lo perciben. Para esto se revisa la lista de cada agente de eventos inesperados percibe, esto significa que algunos agentes perciben algunos eventos mientras que otros no, por ejemplo durante un temblor, un agente persona es posible que lo perciba si se encuentra quieto en una oficina, pero otro que se encuentre sobre un toro mecánico haciendo maniobras lo más probable es que pase desapercibido. Los agentes se modelan con los eventos que perciben y por lo tanto ser afectados por estos en forma positiva, negativa o nula.

Los agentes a los que afecta un evento inesperado se suspenden sus hebras de ejecución para dar lugar a la afectación del evento, suspensión de las hebras que sean afectadas y la adición de hebras de emergencia, así como la alteración de sus recursos o características. Cada agente “nace” con un conjunto finito de comportamientos (papeles) que les permiten responder ante los eventos inesperados. Los eventos que el agente no percibe, no se toman en cuenta y para él son considerados como neutros.

Una vez detectados agentes afectados, se procede a buscar en el árbol el comportamiento más específico posible para el mismo. Esto significa que primero se ubica el evento inesperado en el árbol, utilizando el nombre del evento como índice. Luego se revisan los comportamientos dentro del nodo del evento para determinar cuál es el que realizará el agente. Si el agente tiene alguno de los comportamientos, se aplica ante el evento ocurrido, esto se hace generando una hebra de emergencia (este es el comportamiento más específico). Sino se encuentra la reacción se procede a subir al padre del evento que ocurrió y se toma su comportamiento, nuevamente si el agente lo tiene, se considera

como el más específico. Se continúa de esta forma hasta llegar a la raíz (eventoGeneral) el cual por definición un agente siempre tiene alguno de sus comportamientos para reaccionar.

Los eventos inesperados afectan a un agente en diferentes formas, la afectación es positiva cuando el evento lo hace adquirir más recursos o facilitarle el alcanzar un propósito; por otra parte, si se trata de un evento inesperado negativo para el agente, entonces pierde recursos o que algunas hebras en ejecución se hacen incompatibles con respecto a la de emergencia que se han tenido que activar. Esto es, la afectación de un agente por un evento inesperado en nuestro modelo (MIA) y sistema de ejecución (SEA) es:

- a) *Positiva*, hace que un agente de pronto cuente con recursos para intentar algunos papeles que hasta el momento dado no hubiera podido tomar, por ejemplo: ganar la lotería, encontrar dinero o a un amigo.
- b) *Negativa*, provocan que alguna parte del plan de uno o varios agentes deban omitirla debido a la pérdida de algunos requisitos necesarios para conservar sus papeles; por ejemplo, cuando un agente extravía dinero, la caída de un rayo en una casa.
- c) *Neutra*, son aquellos que no afectan el desarrollo de un plan; por ejemplo, el agente se encuentra en México, D.F. y hay un fallo de energía en Wichita Kansas, EUA.

Durante la afectación de los eventos positivos y negativos es conveniente la activación de un módulo replanificador (o que realice ajustes al plan del agente considerando los avances que ya tenga); este módulo se considera una línea de investigación adicional al trabajo realizado.

La afectación se refleja en los cambios de sus variables internas, regionales y globales que utiliza un agente. Los comportamientos que se integran a un agente se conocen como hebras de emergencia, y están sujetas al mismo tratamiento en caso de que ocurra otro evento inesperado. Como cada papel consta de un conjunto de requisitos, los papeles de las hebras de emergencia también los tienen y por ejemplo, no se podrá activar un comportamiento abrir paraguas si el agente no posee uno, la falta de activación de un evento inesperado por lo tanto provoca que se busque otro comportamiento para la atención del mismo.

Los agentes que se tratan en este trabajo son multihebra y por lo tanto, ejecutan varios papeles al mismo tiempo, pero estos son compatibles mediante la verificación en una tabla de compatibilidad. La forma de calcular la compatibilidad está sujeta a un trabajo adicional en otra línea de investigación.

Durante la duración del evento inesperado el agente puede ejecutar las hebras de emergencia concurrentemente con sus hebras normales. Al concluir el evento es las hebras de emergencia continúan si así lo determina el MEI, por ejemplo, cuando un servidor se daña por una descarga eléctrica es posible activar un servidor de respaldo pero el afectado continúa en la hebra reparación que le impide algunas otras acciones. En otros casos la hebra de emergencia concluye antes que termine el evento inesperado. La decisión de las hebras que terminan o siguen lo realiza el módulo manejador de eventos inesperados (MEI), este registra que una hebra fue afectada por un evento inesperado colocando un estado específico en la hebra.

Las hebras que se pueden suspender son las que se encuentran en el estado 0 (véase la sección 2.3) y pasan al estado 1. Las hebras de emergencia que se adicionan a un agente se marcan con estado 4. Si una hebra de emergencia la suspende otra hebra de emergencia se le asigna el estado 5.



Cuando se restaura la ejecución de una hebra se reasignan los estados 4 para una hebra de emergencia y 0 para una hebra normal. Si una hebra estaba suspendida esperando un mensaje entonces se asigna con el estado 3.

Las decisiones sobre la mejor forma de reactivar hebras suspendidas después de un evento inesperado es motivo de una línea de investigación dedicada a esto.

## **5.4 CONCLUSIONES DE EVENTOS INESPERADOS**

Se ha presentado un componente del modelo presentado en el capítulo 2 relativo a la ocurrencia de eventos inesperados y la manera en que se da la reacción ante los mismos por parte de los agentes que se modelan. Esta propuesta es útil en el sentido que afronta situaciones potencialmente infinitas y que se requieren para evitar que los sistemas de información queden detenidos. El desarrollo de este tema está más detallado en la tesis de [Domínguez 2001], en nuestro caso se describe únicamente estos componentes como un complemento que forma parte del MEI, LIA y SEA.

Mediante el ambiente propuesto (SEA) se simula la ocurrencia y afectación de los agentes por eventos inesperados durante las interacciones, en algunos casos los agentes ya no alcanzan sus propósitos, otros se ven favorecidos por los eventos inesperados y para otros no hay cambio (afectación nula).

